

PENGEMBANGAN DAN UJICoba KOLEKTOR SURYA SEBAGAI ALAT PRAKTIKUM FISIKA TENTANG KONSEP KALOR DI SMA KELAS X

Budi Arwanto

SMP Negeri 18 Purworejo, Kab. Purworejo Jl. Kemiri-Pituruh KM 1, Jawa Tengah
E-mail: arwantobudi@yahoo.com

Raden Oktova

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Ahmad Dahlan
Kampus III, Jl. Prof. Dr. Soepomo, Yogyakarta 55164

INTISARI

Telah dirancang, dikembangkan dan diujicoba kolektor surya sebagai alat praktikum tentang konsep kalor untuk siswa SMA jurusan IPA kelas X. Kolektor surya tipe plat datar model serpentin dibuat sebanyak empat buah dengan spesifikasi yang sama, kemudian dilakukan uji fisik dan uji kelayakan penggunaan kolektor surya sebagai alat praktikum. Pengujian fisik dilakukan dengan pengamatan suhu air masukan dan suhu air keluaran selama tiga hari, dan hasilnya dirata-rata. Untuk uji kelayakan penggunaan kolektor di kelas sebagai alat praktikum, dilakukan ujicoba praktikum, kemudian diberikan angket yang diisi oleh dua orang guru Fisika dan 12 siswa kelas X IPA SMA Negeri 4 Purworejo, Jawa Tengah, sehingga diperoleh nilai persentase kelayakan dalam skala 0 – 100 %. Pada uji fisik alat terbukti bahwa kolektor surya tersebut berfungsi dengan baik. Dari hasil angket uji kelayakan penggunaan alat peraga oleh guru Fisika dan oleh siswa dapat disimpulkan bahwa kolektor surya sangat layak digunakan sebagai alat praktikum fisika.

Kata kunci: kolektor surya, alat praktikum, konsep kalor, SMA IPA kelas X.

THE DEVELOPMENT AND TESTING OF SOLAR COLLECTORS AS A PHYSICS LABORATORY PRACTICAL APPARATUS FOR TEACHING THE CONCEPT OF HEAT FOR TENTH YEAR HIGH SCHOOL SCIENCE STUDENTS

ABSTRACT

Solar collectors have been designed, developed and tested as a laboratory practical apparatus on the concept of heat for tenth year high school science students. Four identical flat plate serpentine type collectors have been made, tested physically for their feasibility to demonstrate the thermosyphon phenomenon, and also tested for their feasibility as a teaching laboratory apparatus. The physical testing was performed by observing the input and output water temperatures in a three day experiment, and the values at each time were averaged. The teaching laboratory feasibility testing was performed by a trial laboratory activity, followed by questionnaire administration to two physics teachers and 12 tenth year high school science students at SMA Negeri 4 in Purworejo, Central Java, to obtain a feasibility level on a 0 – 100 % scale. In the physical testing, the solar collectors were proved to work properly. The questionnaires filled out by teachers and students show that the solar collectors are quite feasible to be used as a physics laboratory apparatus.

Keywords: solar collector, laboratory practical, heat concept, tenth year high school science.

I. PENDAHULUAN

Praktikum fisika sangat penting dalam proses belajar fisika siswa. Menurut Azar and engülec (2011), kegiatan praktikum fisika meningkatkan proses belajar siswa, membantu mengembangkan sikap positif terhadap fisika dan, lebih penting lagi, menanamkan pengetahuan fisika pada diri siswa. Menurut Tamir dalam Adegoke dan Chukwunye (2013), dalam pembelajaran sains, termasuk fisika, praktikum dapat membantu siswa memahami konsep-konsep ilmiah yang abstrak dan kompleks, mengembangkan kemampuan menyelesaikan soal dan analitis, mengembangkan kemampuan praktis, dan mengembangkan sikap positif terhadap sains.

Di SMA-SMA di Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah, umumnya telah tersedia peralatan laboratorium Fisika, namun untuk konsep kalor dan prinsip konservasi energi, jenis peralatan maupun jumlahnya kurang, khususnya di SMA Negeri 4 Purworejo. Standar kompetensinya adalah menerapkan konsep kalor dan prinsip konservasi energi yang meliputi tiga kompetensi dasar: menganalisis pengaruh kalor terhadap suatu zat, menganalisis cara perpindahan kalor, dan menerapkan asas Black dalam pemecahan masalah (BSNP, 2006: 191). Jika pembelajaran ingin dibuat lebih bermakna bagi siswa, diperlukan alat praktikum untuk konsep kalor dan prinsip konservasi energi.

Dalam pada itu siswa juga perlu diberi wawasan tentang terjadinya krisis energi global dan teknologi energi alternatif, mengingat bahwa energi fosil, khususnya minyak bumi merupakan sumber energi utama dan terbatas jumlahnya, karena itu diperlukan pengembangan energi terbarukan. Energi terbarukan adalah energi nonfosil yang berasal dari alam dan dapat diperbaharui (Omar, Haitham, dan Frede, 2014); bila dikelola dengan baik sumber daya ini tidak akan habis. Indonesia yang terletak di jalur khatulistiwa sebenarnya memiliki suatu keuntungan cukup besar yaitu menerima radiasi surya yang berkesinambungan sepanjang tahun dengan intensitas cukup tinggi hingga sekitar 3 kWh/m²/hari (Walker, 2013: 263), tetapi energi radiasi tersebut belum banyak dimanfaatkan, terbuang percuma untuk keperluan alamiah saja. Salah satu usaha untuk memanfaatkan energi tersebut adalah menggunakan kolektor surya, yaitu dengan menangkap energi yang berupa gelombang elektromagnetik masuk melalui kaca penutup dan terperangkap di ruang kolektor (dikenal sebagai efek rumah kaca), dan oleh plat penyerap energi radiasi diubah menjadi energi kalor, yang diteruskan ke pipa-pipa yang berisi air. Adanya gradien suhu akan menimbulkan konveksi air dalam pipa, yang disebut efek termosifon. Salah satu tinjauan pustaka mutakhir kolektor surya, termasuk jenis-jenisnya, diberikan dalam Richter (2009). Saat ini sudah sangat banyak dikembangkan kolektor surya untuk berbagai keperluan, misalnya dalam bentuk rumah surya terpadu (Lee, dkk., 2014). Banyak penelitian untuk mengoptimalkan efisiensi kolektor surya, misalnya yang dilakukan oleh Jafarkazemi, Saadabadi, dan Pasdarshahri (2012).

Dengan demikian, kolektor surya sebagai peralatan untuk mengkonversi energi matahari merupakan topik yang layak dicoba untuk siswa SMA. Kolektor surya tipe plat datar model serpentin telah dibuat sebanyak empat buah dengan spesifikasi yang sama, kemudian dilakukan uji fisik dan uji kelayakan penggunaan kolektor surya sebagai alat praktikum.

Permasalahan pada penelitian ini adalah apakah kolektor surya yang dibuat layak digunakan dalam pembelajaran untuk konsep kalor di SMA IPA kelas X?

Adapun manfaat penelitian ini adalah (a) memberikan informasi kepada guru Fisika dan mahasiswa Pendidikan Fisika untuk menambah wawasan tentang kolektor surya sebagai alat peraga pembelajaran untuk konsep Kalor di SMA, (b) menjadikan kolektor surya sebagai salah satu pelengkap alat peraga pembelajaran Fisika di SMA Kelas X.

II. KAJIAN PUSTAKA

Di Indonesia telah dilakukan beberapa penelitian tentang kolektor surya, khususnya jenis plat datar dengan pipa berbentuk serpentin (bentuk ular) untuk alat peraga dalam pembelajaran. Salah satu penelitian mutakhir oleh Oktova dan Santoso (2012) dengan kolektor surya plat datar model serpentin mengkaji pengaruh cacah kaca penutup terhadap kenaikan suhu maksimum air tandon.

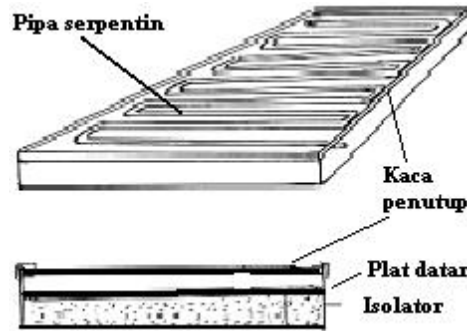
Bentuk rancangan kolektor surya plat datar model serpentin tersaji dalam Gambar 1 (Oktova dan Santoso, 2012). Persamaan kesetimbangan laju energi kalor pada kolektor surya dapat dinyatakan dengan persamaan

$$Q_u = Q_m - Q_h \quad , \quad (1)$$

di mana Q_u adalah daya berguna, Q_m adalah daya yang masuk mengenai kolektor surya, Q_h adalah daya yang hilang. Intensitas radiasi matahari yang diserap plat penyerap akan ditentukan oleh faktor transmisi kaca penutup, sifat plat datar, dan intensitas radiasi,

$$S = \tau_r I_T, \quad (2)$$

dengan τ faktor transmisi kaca penutup, r faktor absorpsi plat, dan I_T intensitas radiasi matahari yang mengenai permukaan plat. Sebagian tenaga matahari yang sampai ke plat akan diserap, sisanya akan dipancarkan kembali melalui konduksi, konveksi dan radiasi ke udara sekitar.



Gambar 1. Kotak kolektor surya plat datar model serpentin dilihat dari atas miring (gambar atas) dan tampak samping (gambar bawah).

Kalor yang hilang dari kolektor ke sekitar melalui konduksi, konveksi dan radiasi dapat disajikan sebagai hasil kali suatu koefisien transfer kalor U_L dengan $(T_f - T_a)$, yaitu selisih antara suhu rata-rata plat dan suhu lingkungan sekitar (*ambient temperature*). Dalam keadaan tunak (*steady state*), daya keluaran kolektor, P_k , adalah sama dengan daya matahari yang diserap dikurangi daya rugi-rugi,

$$P_k = A_c [S - U_L (T_f - T_a)], \quad (3)$$

dengan P_k adalah daya kalor yang diterima, A_c luas kolektor surya, U_L koefisien transfer kalor, T_f suhu plat dan T_a suhu lingkungan sekitar. Daya keluaran yang diberikan kolektor surya ke air dapat dihitung dari

$$P_k = \dot{m} c (T_k - T_m), \quad (4)$$

dengan \dot{m} massa air yang mengalir per satuan waktu, c kalor jenis air, T_k suhu air keluar dan T_m suhu air masukan. Efisiensi kolektor, η , didefinisikan perbandingan antara daya keluaran kolektor dengan daya radiasi matahari yang datang,

$$\eta = \frac{P_k}{A_c I_T}, \quad (5)$$

atau

$$\eta = \frac{\dot{m} c (T_k - T_m)}{A_c I_T}. \quad (6)$$

Untuk pembelajaran yang menggunakan kolektor surya sebagai alat peraga, perlu dijelaskan pula asas Black dan satuan kalor selain joule, yaitu kalori (Serway dan Jewett, 2010).

III. METODE PENELITIAN

a. Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan selama 5 bulan dimulai pada bulan September 2013 sampai dengan Januari 2014, di SMA Negeri 4 Purworejo, Jawa Tengah.

b. Alat, Bahan dan Susunan Kolektor

Kolektor surya tipe plat datar model serpentin dibuat sebanyak empat buah dengan spesifikasi yang sama. Kolektor yang dibuat merupakan kotak dengan panjang 87 cm, lebar 67 cm, dan tinggi 12 cm. Di bagian atas kolektor terdapat kaca penutup dengan ketebalan 5 mm. Di dalam kotak kolektor terdapat plat datar galvanil dengan ketebalan 0,9 mm sebagai penyerap kalor dari radiasi matahari, dan plat tersebut diberi lapisan cat warna hitam dof. Di bawah plat ditempelkan rangkaian pipa besi berukuran $\frac{1}{2}$ inci yang berbentuk serpentin (mengular), dan kedua ujung pipa membentuk bagian pipa masukan untuk air masuk dan pipa keluaran tempat air mengalir keluar dari kolektor. Dibawah pipa serpentin terdapat isolator dari bahan *sterofoam* (gabus) untuk mencegah konduksi kalor ke lingkungan. Dinding kotak terbuat dari papan kayu Kalimantan jenis kruing dengan dimensi kotak.

Selain itu selang plastik jenis Hiprex ukuran $\frac{3}{4}$ inci digunakan sebagai penghubung pipa masukan dengan tandon air dan pipa keluaran dengan tandon. Panjang selang untuk pipa masukan 150 cm dan ukuran panjang selang untuk pipa keluaran 100 cm. Klem digunakan untuk menguatkan sambungan antara selang dan pipa masukan atau pipa keluaran. Digunakan juga sebuah rak besi yang terdiri atas dua bagian: bagian mendatar untuk meletakkan tandon air dan bagian miring merupakan tempat meletakkan kolektor surya. Tingkat kemiringan kolektor dapat diatur, dengan mengatur salah satu sisi rak yang mengkait pada kaki rak. Tandon air dibuat dari bekas kaleng cat tembok. Sebuah arloji digunakan untuk mengamati waktu, dan sebuah waterpas digunakan untuk mengatur posisi rak tempat tandon air agar pada posisi mendatar.

c. Uji Fisik Kolektor

Uji fisik dimaksudkan untuk menguji apakah kolektor dapat berfungsi memanaskan air. Keempat kolektor ditempatkan segaris (Barat-Timur) pada jarak 2 meter satu sama lain, menghadap ke Selatan, sedangkan suhu air masukan dan suhu air keluaran setiap jam dibaca mulai pukul 08.00 WIB dengan termometer alkohol. Kemiringan bidang kolektor terhadap bidang horizontal membentuk sudut sama sebesar 15° , dengan maksud untuk menguji apakah keempat kolektor yang dibuat menunjukkan karakteristik yang seragam. Kemiringan 15° dipilih untuk membuat sinar matahari datang kira-kira tegak lurus terhadap bidang kolektor.

Seluruh proses pengambilan data diulangi, sehingga diperoleh tiga data suhu dari tiga hari pengambilan data. Dari data suhu air pada semua pengamatan yang dilakukan, dihitung kenaikan suhu air masukan dan kenaikan suhu air keluaran, yaitu suhu pada saat pengamatan dikurangi suhu awal pengamatan pada hari yang sama, kemudian dari data pada selang waktu (lama pemanasan) yang sama yang diperoleh untuk tiga kali (=tiga hari) pengambilan data diambil rata-rata dan deviasi standard.

d. Uji Kelayakan oleh Pengguna

Setelah dilakukan uji fisik, dilakukan uji kelayakan penggunaan kolektor surya sebagai alat praktikum, dengan melibatkan dua orang guru Fisika dan 12 orang siswa kelas X IPA yang memenuhi kriteria seleksi tertentu pada SMA Negeri 4 Purworejo, Jawa Tengah. Ke-12 siswa dibagi menjadi empat kelompok, sesuai dengan cacah kolektor yang tersedia, sehingga setiap kolektor digunakan oleh satu kelompok beranggotakan 3 siswa.

Mula-mula siswa dengan didampingi guru diajak untuk melakukan kegiatan praktikum dengan menggunakan kolektor surya. Dalam kegiatan praktikum disiapkan beberapa hal, yaitu:

- tujuan pembelajaran yang dikaitkan dengan alat yang digunakan.
- materi pokok yang berhubungan dengan kompetensi dasar, yaitu konsep kalor dan prinsip perpindahan kalor
- skenario pembelajaran praktikum kolektor surya tentang urutan kegiatan yang harus dilakukan guru dan siswa selama praktikum.
- panduan praktikum.
- lembar kerja siswa.

Setelah praktikum, dilakukan evaluasi dengan memberikan angket yang sebelumnya telah divalidasi oleh seorang pakar Pendidikan Fisika. Angket untuk guru berupa 12 pernyataan (Tabel I) dengan menggunakan model skala Likert (lihat kajian pustaka dalam Barua, 2013) dan diikuti oleh empat respon yang menunjukkan empat tingkatan, di mana alternatif responnya adalah Sangat Setuju (SS), Setuju (S), Tidak Setuju (TS), dan Sangat Tidak Setuju (STS), sedangkan penentuan jumlah skor untuk jawaban pernyataan dalam angket adalah skor 4 untuk jawaban Sangat Setuju (SS), skor 3 untuk Setuju (S), skor 2 untuk Tidak Setuju (TS), skor 1 untuk Sangat Tidak Setuju (STS). Berdasarkan tabulasi data, dihitung skor rata-rata dan deviasi rata-rata (dari dua guru) tiap butir pernyataan.

Tabel I. Lembar angket uji kelayakan penggunaan untuk guru.

No.	Pernyataan
1.	Alat praktikum sesuai dengan tujuan pembelajaran yang diharapkan.
2.	Materi yang dapat dijelaskan dengan alat praktikum sesuai dengan kompetensi dasar.
3.	Fungsi alat praktikum yang ditampilkan sesuai dengan materi pembelajaran siswa.
4.	Siswa tertarik untuk memahami konsep dari alat praktikum yang ditampilkan.
5.	Alat praktikum sesuai dengan penyampaian konsep yang telah dibahas sebelumnya.
6.	Alat praktikum sesuai dengan konsep yang akan dijelaskan atau dibahas dalam materi selanjutnya.
7.	Alat praktikum sesuai dengan kebutuhan siswa.
8.	Motivasi siswa terhadap konsep yang sedang dibahas dengan penggunaan alat praktikum mengalami peningkatan .
9.	Komunikasi yang terjadi antara guru dengan siswa pada proses pembelajaran sesuai dengan alat praktikum yang digunakan.
10.	Terdapat kerja sama siswa dalam memperoleh data dari alat praktikum yang digunakan.
11.	Konsep yang dipahami oleh siswa ketika guru membimbing siswa dalam menarik kesimpulan sesuai dengan kegiatan pembelajaran dengan alat praktikum.
12.	Alat praktikum yang digunakan sesuai dengan tingkat perkembangan (mental) siswa.

Adapun tingkat kelayakan alat praktikum untuk tiap butir pernyataan dihitung dengan menggunakan persamaan

$$P = \frac{S}{S_m} \times 100 \%, \quad (7)$$

dengan P adalah tingkat kelayakan alat peraga (%), S adalah skor rata-rata yang diperoleh (dari dua guru penilai), dan S_m adalah skor maksimum tiap butir pernyataan, yaitu empat. Persentase yang telah diperoleh kemudian ditransformasikan ke dalam kalimat yang bersifat kualitatif. Untuk menentukan kriteria kualitatif (sangat layak, layak, kurang layak dan tidak layak) digunakan klasifikasi seperti disajikan pada Tabel II (Sari dan Oktova, 2010). Selain itu, dihitung jumlah skor rata-rata dari semua butir pernyataan dan deviasi standardnya. Adapun tingkat kelayakan alat praktikum secara keseluruhan dihitung dengan menggunakan persamaan (7), hanya saja kali ini S adalah jumlah skor rata-rata dari semua butir pernyataan dan S_m adalah jumlah skor rata-rata maksimum yang mungkin, yaitu $(4 \text{ per butir}) \times 12 \text{ butir} = 48$.

Tabel II. Interval nilai untuk tingkat kelayakan penggunaan alat praktikum.

No.	Inteval Nilai, P	Tingkat Kelayakan
1.	76 – 100 %	Sangat Layak
2.	51 – 75 %	Layak
3.	26 – 50 %	Kurang Layak
4.	0 – 25 %	Tidak Layak

Angket untuk siswa berisi 10 aspek pembelajaran yang terkait dengan alat praktikum kolektor surya (Tabel III) dan diisi dengan memberikan nilai berupa angka 0-10. Kelengkapan jawaban angket yang telah diisi diperiksa, kemudian angket disusun sesuai dengan kode responden. Berbeda dengan angket guru Fisika yang memerlukan kuantifikasi jawaban (dari SS sampai dengan STS) setiap pernyataan dengan memberikan skor sesuai dengan bobot yang telah ditentukan sebelumnya, untuk angket siswa data isian angket telah berbentuk skor angka. Berdasarkan tabulasi data, dihitung skor rata-rata dan deviasi standard (dari 12 siswa) tiap aspek yang dinilai, kemudian tingkat kelayakan alat praktikum untuk tiap aspek dihitung dengan menggunakan persamaan (7), dengan S adalah skor rata-rata yang diperoleh (dari 12 siswa penilai), dan S_m adalah skor maksimum tiap aspek, yaitu 10. Setelah itu, dihitung jumlah skor rata-rata dari semua aspek dan deviasi standardnya, kemudian tingkat kelayakan alat praktikum secara keseluruhan dihitung dengan menggunakan persamaan (7), hanya saja kali ini S adalah jumlah skor rata-rata dari semua aspek dan S_m adalah jumlah skor rata-rata maksimum yang mungkin, yaitu $(10 \text{ per aspek}) \times 10 \text{ aspek} = 100$.

Tabel III. Lembar angket uji kelayakan penggunaan untuk siswa.

No.	Aspek yang dinilai
1.	Kemudahan dalam penggunaan
2.	Daya tarik alat peraga
3.	Kemudahan dalam pengambilan data
4.	Kemudahan dalam pengecekan kinerja alat
5.	Kemudahan dalam memahami penjelasan guru tentang alat
6.	Kemudahan dalam menampilkan grafik
7.	Kemudahan dalam menarik kesimpulan
8.	Proses pembelajaran yang saya alami menyenangkan
9.	Saya lebih aktif dalam berpikir
10.	Saya lebih aktif bekerja sama dalam kelompok

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

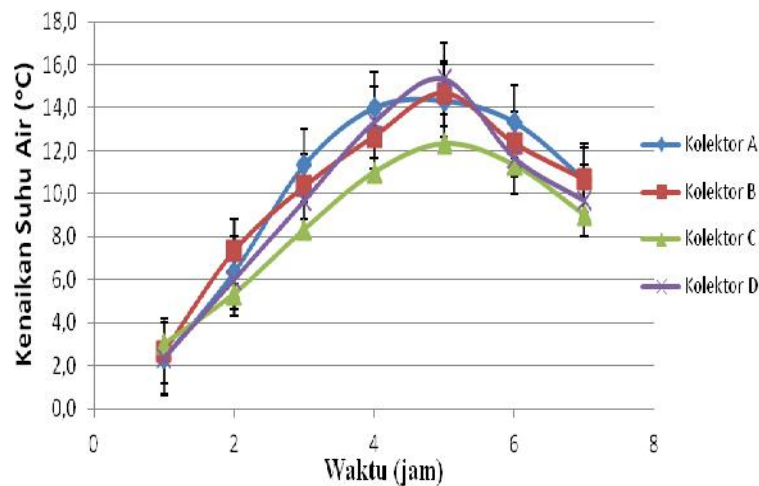
a. Uji Fisik Alat

Pengambilan data suhu air pada uji fisik alat dilaksanakan selama tiga hari pada tanggal 20, 23 dan 24 November 2013.

Tabel IV. Kenaikan suhu air masukan.

Waktu (jam)	$T_m (^{\circ}\text{C})$			
	A	B	C	D
1	$2,3 \pm 1,5$	$2,7 \pm 1,2$	$3,0 \pm 1,7$	$3,0 \pm 2,0$
2	$6,3 \pm 2,3$	$7,3 \pm 2,1$	$5,3 \pm 2,1$	$6,3 \pm 3,1$
3	$11,3 \pm 2,3$	$10,3 \pm 0,6$	$8,3 \pm 2,1$	$9,7 \pm 4,2$
4	$14,0 \pm 1,7$	$12,7 \pm 0,6$	$11,0 \pm 1,0$	$13,3 \pm 2,5$
5	$14,3 \pm 0,6$	$14,7 \pm 2,5$	$12,3 \pm 2,1$	$15,3 \pm 3,2$
6	$13,3 \pm 1,5$	$12,3 \pm 3,1$	$11,3 \pm 2,9$	$11,7 \pm 0,6$
7	$10,7 \pm 2,5$	$10,7 \pm 2,5$	$9,0 \pm 2,6$	$9,7 \pm 1,5$

Rata-rata dan deviasi standard kenaikan suhu air masukan disajikan pada Tabel IV dan grafik disajikan pada Gambar 2, dan terlihat bahwa dalam batas-batas ralat eksperimen tidak terdapat perbedaan nyata antara grafik kenaikan suhu air masukan dari keempat kolektor. Selain itu terlihat bahwa keempat grafik menunjukkan puncak kenaikan suhu air masukan setelah pemanasan selama 5 jam (pengamatan pukul 13.00), dan jika diambil rata-rata berbobot kenaikan suhu air masukan dari keempat kolektor diperoleh $14,2 \pm 0,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Sedikit lebih kecil dibandingkan kenaikan suhu air masukan setelah pemanasan selama 5 jam, kenaikan suhu air masukan setelah pemanasan selama 4 jam (pengamatan pukul 12.00) menunjukkan rata-rata berbobot kenaikan suhu air masukan $12,4 \pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.



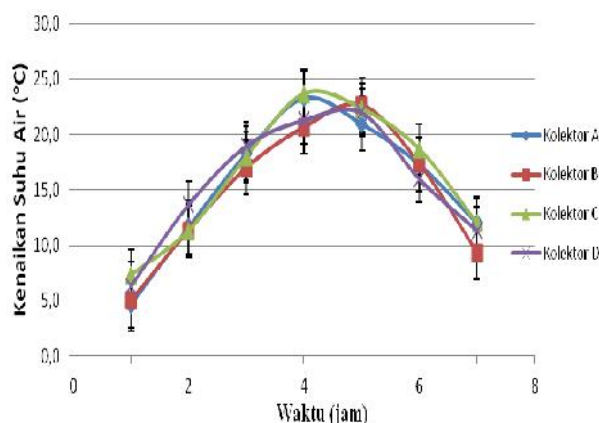
Gambar 2. Grafik kenaikan suhu air masukan.

Tabel V. Kenaikan suhu air keluaran.

Waktu (jam)	$T_k (^{\circ}\text{C})$			
	A	B	C	D
1	$4,7 \pm 3,5$	$5,0 \pm 2,0$	$7,3 \pm 4,0$	$6,3 \pm 2,1$
2	$11,7 \pm 2,1$	$11,3 \pm 2,5$	$11,3 \pm 5,0$	$13,7 \pm 3,2$
3	$18,3 \pm 1,5$	$17,0 \pm 3,5$	$18,0 \pm 6,2$	$19,0 \pm 3,0$
4	$23,3 \pm 2,5$	$20,7 \pm 2,5$	$23,7 \pm 4,7$	$21,3 \pm 2,5$
5	$21,0 \pm 4,6$	$22,7 \pm 2,1$	$22,3 \pm 2,5$	$22,0 \pm 1,0$
6	$17,3 \pm 6,7$	$17,3 \pm 3,8$	$18,7 \pm 3,5$	$16,0 \pm 3,6$
7	$12,0 \pm 6,1$	$9,3 \pm 6,4$	$12,0 \pm 2,6$	$11,3 \pm 4,5$

Nilai rata-rata dan deviasi standard kenaikan suhu air keluaran disajikan pada Tabel V dan grafik disajikan pada Gambar 3, dan terlihat bahwa dalam batas-batas ralat eksperimen tidak terdapat perbedaan nyata antara grafik kenaikan suhu air keluaran dari keempat kolektor. Berbeda dengan data kenaikan suhu air masukan, di mana keempat kolektor menunjukkan puncak maksimum pada saat yang sama setelah pemanasan 5 jam, untuk kenaikan suhu air keluaran secara sepintas terlihat dua puncak yang berbeda. Grafik nilai rata-rata kenaikan air keluaran untuk kolektor A dan B menunjukkan puncak setelah pemanasan selama 5 jam (pengamatan pukul 13.00), sedangkan grafik untuk kolektor C dan D menunjukkan puncak setelah pemanasan selama 4 jam (pengamatan pukul 12.00). Namun demikian, jika diperhitungkan ralat eksperimennya, tidak terdapat perbedaan nyata antara data keempat kolektor. Jika diambil rata-rata berbobot kenaikan suhu air keluaran dari keempat kolektor, diperoleh nilai $21,9 \pm 1,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ setelah pemanasan selama 4 jam, dan $22,1 \pm 0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$

setelah pemanasan selama 5 jam; dengan demikian tidak terdapat perbedaan nyata antara data setelah pemanasan selama 4 jam dan 5 jam.



Gambar 3. Grafik kenaikan suhu air keluaran.

Berdasarkan uji fisik alat dapat disimpulkan bahwa semua kolektor surya yang dibuat mempunyai karakteristik seragam dan berfungsi dengan baik, yaitu dapat menaikkan suhu air pada masukan dan keluaran.

b. Hasil Uji Kelayakan Penggunaan Alat

Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh guru disajikan pada Tabel VI, dengan menggunakan butir-butir pernyataan yang disajikan pada Tabel I. Kolom ke-3 Tabel VI adalah rata-rata dan deviasi rata-rata nilai per butir pernyataan dari dua guru penilai, sedangkan kolom ke-4 adalah rata-rata dan deviasi rata-rata persentase nilai kelayakan per butir pernyataan dari dua guru penilai.

Sebagaimana terlihat dari Tabel VI, pada penilaian per butir pernyataan terdapat tiga nilai yang sama oleh dua guru (sehingga deviasi rata-rata menjadi nol), yaitu untuk butir ke-3 “Fungsi alat praktikum yang ditampilkan sesuai dengan materi pembelajaran siswa” dengan nilai sempurna empat (100% atau “sangat layak”), butir ke-6 “Alat praktikum sesuai dengan konsep yang akan dijelaskan atau dibahas dalam materi selanjutnya” dengan nilai tiga (75% atau “layak”) dan butir ke-7 “Alat praktikum sesuai dengan kebutuhan siswa” juga dengan nilai tiga (75% atau “sangat layak”). Dengan memperhatikan jangkauan nilai dalam batas-batas deviasi rata-rata, nilai kelayakan alat praktikum adalah dari “layak” hingga “sangat layak”. Terdapat nilai paling rendah sebesar $2,5 \pm 0,5$ ($62,5 \pm 12,5\%$) untuk butir ke-10 “Terdapat kerja sama siswa dalam memperoleh data dari alat praktikum yang digunakan”, yang dapat difasilitasi sosialisasi pembagian tugas sebelum praktikum kepada siswa kurang optimal, namun ini masih berada dalam daerah “layak”.

Berdasarkan penilaian oleh guru per butir pernyataan pada Tabel VI, secara keseluruhan rata-rata dan deviasi standard nilai kelayakan alat praktikum dari guru adalah $3,38 \pm 0,06$ atau $84,4 \pm 1,5 \%$, sehingga berdasarkan klasifikasi tingkat kelayakan pada Tabel II dapat disimpulkan bahwa kolektor surya tersebut sangat layak digunakan sebagai alat praktikum.

Tabel VI. Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh guru.

No.	Pernyataan	Nilai	
		Skala 1-4	%
1.	Alat praktikum sesuai dengan tujuan pembelajaran yang diharapkan.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
2.	Materi yang dapat dijelaskan dengan alat praktikum sesuai dengan kompetensi dasar.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
3.	Fungsi alat praktikum yang ditampilkan sesuai dengan materi pembelajaran siswa.	$4,0 \pm 0,0$	$100 \pm 0,0$

Tabel VI (Lanjutan). Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh guru.

No.	Pernyataan	Nilai	
		Skala 1-4	%
4.	Siswa tertarik untuk memahami konsep dari alat praktikum yang ditampilkan.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
5.	Alat praktikum sesuai dengan penyampaian konsep yang telah dibahas sebelumnya.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
6.	Alat praktikum sesuai dengan konsep yang akan dijelaskan atau dibahas dalam materi selanjutnya.	$3,0 \pm 0,0$	$75,0 \pm 0,0$
7.	Alat praktikum sesuai dengan kebutuhan siswa.	$3,0 \pm 0,0$	$75,0 \pm 0,0$
8.	Motivasi siswa terhadap konsep yang sedang dibahas dengan penggunaan alat praktikum mengalami peningkatan.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
9.	Komunikasi yang terjadi antara guru dengan siswa pada proses pembelajaran sesuai dengan alat praktikum yang digunakan.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
10.	Terdapat kerja sama siswa dalam memperoleh data dari alat praktikum yang digunakan.	$2,5 \pm 0,5$	$62,5 \pm 12,5$
11.	Konsep yang dipahami oleh siswa ketika guru membimbing siswa dalam menarik kesimpulan sesuai dengan kegiatan pembelajaran dengan alat praktikum.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$
12.	Alat praktikum yang digunakan sesuai dengan tingkat perkembangan (mental) siswa.	$3,5 \pm 0,5$	$87,5 \pm 12,5$

Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh siswa disajikan pada Tabel VII, dengan menggunakan butir-butir aspek yang disajikan pada Tabel III. Kolom ke-3 Tabel VII adalah rata-rata dan deviasi standard (bukan deviasi rata-rata seperti pada penilaian guru) nilai per aspek dari 12 siswa penilai, sedangkan kolom ke-4 adalah rata-rata dan deviasi standard persentase nilai kelayakan per aspek. Sebagaimana terlihat dari Tabel VII, pada penilaian per aspek tidak terdapat nilai yang sama, dengan kata lain tidak ada deviasi standard sama dengan nol; hal ini merupakan indikasi bahwa para siswa mempunyai penilaian yang cukup bervariasi dan bebas satu sama lain. Walaupun demikian, deviasi standard nilai per aspek relatif kecil, umumnya kurang dari 5 %, kecuali aspek ke-2 “daya tarik alat peraga” yang mempunyai deviasi standard sekitar 6 %. Semua nilai per aspek menunjukkan tingkat kelayakan lebih dari 75 % atau dengan kata lain para siswa memberikan nilai “sangat layak” pada semua aspek, dan rata-rata berbobot dari seluruh aspek memberikan tingkat kelayakan sebesar $86,8 \pm 3,6$ %.

Tabel VII. Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh siswa.

No.	Aspek yang dinilai	Nilai	
		Skala 0-10	%
1.	Kemudahan dalam penggunaan	$9,3 \pm 0,1$	93 ± 1
2.	Daya tarik alat peraga	$8,1 \pm 0,5$	81 ± 5
3.	Kemudahan dalam pengambilan data	$8,7 \pm 0,2$	87 ± 2
4.	Kemudahan dalam pengecekan kinerja alat	$8,5 \pm 0,2$	85 ± 2

Tabel VII (Lanjutan). Hasil penilaian uji kelayakan penggunaan oleh siswa.

No.	Aspek yang dinilai	Nilai	
		Skala 0-10	%
5.	Kemudahan dalam memahami penjelasan guru tentang alat	$8,9 \pm 0,3$	89 ± 3
6.	Kemudahan dalam menampilkan grafik	$9,0 \pm 0,1$	90 ± 1
7.	Kemudahan dalam menarik kesimpulan	$7,9 \pm 0,1$	79 ± 1
8.	Proses pembelajaran yang saya alami menyenangkan	$8,8 \pm 0,1$	88 ± 1
9.	Saya lebih aktif dalam berpikir	$8,6 \pm 0,4$	86 ± 4
10.	Saya lebih aktif bekerja sama dalam kelompok	$9,1 \pm 0,4$	91 ± 4

c. Kemudahan dan Kekurangan Alat

Dalam proses pembuatan dan penggunaan kolektor surya dijumpai beberapa kemudahan dan kesulitan. Kemudahan dalam pembuatan adalah bahan-bahan dan alat yang dibutuhkan mudah didapatkan. Kesulitan yang dialami dalam pembuatan adalah ketika membuat bentuk serpentin/mengular dari pipa besi dibutuhkan alat khusus sehingga harus dilakukan di bengkel servis knalpot untuk membengkokkan pipa menjadi bentuk serpentin.

Kesulitan utama penggunaan kolektor surya untuk praktikum adalah operasinya dipengaruhi kondisi cuaca yang berubah-ubah karena berada dalam musim hujan, sehingga disarankan praktikum dilakukan dalam cuaca stabil cerah pada musim kemarau.

Salah satu keterbatasan penelitian yang dilakukan adalah uji kelayakan penggunaan hanya menggunakan angket yang diisi oleh guru dan siswa pada saat uji praktikum, sedangkan pengamatan atau observasi aktivitas uji praktikum tidak dilakukan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada uji fisik diperoleh rata-rata berbobot kenaikan suhu air masukan tertinggi sebesar $14,2 \pm 0,6$ °C, dan kenaikan suhu air keluaran tertinggi sebesar $22,1 \pm 0,8$ °C, sehingga terbukti bahwa kolektor surya tersebut berfungsi dengan baik.

Uji kelayakan penggunaan kolektor untuk praktikum menunjukkan bahwa guru-guru Fisika memberikan persentase kelayakan sebesar $84,4 \pm 1,5$ %, dan siswa memberikan persentase kelayakan sebesar $86,8 \pm 3,6$ %. Dapat disimpulkan bahwa kolektor surya tersebut sangat layak digunakan sebagai alat praktikum.

Praktikum fisika dengan kolektor surya sebaiknya dilakukan dalam cuaca stabil cerah pada musim kemarau.

Untuk penelitian selanjutnya, pada uji praktikum selain digunakan angket yang diisi oleh guru dan siswa, pengamatan atau observasi aktivitas uji praktikum perlu juga dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adegoke, B. A., dan Chukwunenye, N., 2013, "Improving students' learning outcomes in practical physics, which is better? Computer simulated experiment or hands-on experiment?", *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 2(6), 18-26.
- Azar, A., dan engülec, Ö.A., 2011, "Computer-Assisted and Laboratory Assisted teaching methods in physics teaching: The effect on student achievement and attitude towards physics," *Eurasian Journal of Physics and Chemistry Education (Special Issue)*, 43 – 50.

- Badan Standar Nasional Pendidikan, 2006, "Standar isi untuk satuan pendidikan dasar dan menengah, standar isi dan kompetensi dasar SMA/MA," Jakarta: BSNP.
- Barua, A., 2013, "Methods for decision-making in survey questionnaires based on Likert scale", *Journal of Asian Scientific Research*, **3**(1), 35-38.
- Jafarkazemi, F., Saadabadi, S. A., dan Pasharshahi, H., 2012, "The optimum tilt angle for flat-plate solar collectors in Iran", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, **4**, 013118 (2012).
- Lee, K., Lee, J., Yoon, E., Joo, M., Lee, S., dan Baek, N., 2014, "Annual measured performance of building-integrated solar energy systems in demonstration low-energy solar house", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, **6**, 042013.
- Oktova, R., dan Santoso, S., 2012, "Pengaruh cacah kaca penutup terhadap kenaikan suhu maksimum air tandon pada kolektor surya plat datar", *Berkala Fisika Indonesia*, **4** (1 & 2), 33-41.
- Omar, E., Haitham, A.-R., dan Frede, B., 2014, "Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **39**, 748–764.
- Richter, J. L., 2009, "Solar collector basics", *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, **1**, 043112.
- Sari, P., dan Oktova, R., 2010, "Pemanfaatan Web Builder untuk perancangan media pembelajaran *online* tentang pengaruh rotasi bumi terhadap gerak bandul matematis," *Berkala Fisika Indonesia*, **2**(2), 54-63.
- Serway, R.A. dan Jewett, J.W., 2010, "Fisika untuk sains dan teknik," Buku 2 Edisi 6, Jakarta: Salemba Teknik.
- Tamir, P., 1977, "How are the laboratories used?", *Journal of Research in Science Teaching*, **14**, 311-316.
- Walker, A., 2013, "Solar energy: technologies and project delivery for buildings," New York: John Wiley.